

Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

Научная статья

УДК 519.6:550.38

<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-1/94-103>

К.Ю. Кириченко, А.С. Холодов, А.В. Гридасов, А.В. Погодаев, И.А. Вахнюк
В.Н. Волкова, К.С. Голохваст

КИРИЧЕНКО КОНСТАНТИН ЮРЬЕВИЧ – к.б.н., ведущий научный сотрудник;
научный сотрудник научно-организационного управления ДВФУ, kirichenko2012@gmail.com
ВАХНЮК ИГОРЬ АНАТОЛЬЕВИЧ – младший научный сотрудник, vakhnuyk.ia@mail.ru
ГОЛОХВАСТ КИРИЛЛ СЕРГЕЕВИЧ – д.б.н., член-корреспондент РАО, профессор РАН,
главный научный сотрудник, droopy@mail.ru

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН

Краснообск, Россия

ХОЛОДОВ АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ – старший научный сотрудник, alex.holodov@gmail.com

Дальневосточный институт геологии ДВО РАН

ГРИДАСОВ АЛЕКСАНДР ВАЛЕНТИНОВИЧ – к.т.н., директор департамента,
заместитель проректора по перспективным проектам и новой инфраструктуре,
gridasov@dvfu.ru

ПОГОДАЕВ АНТОН ВАСИЛЬЕВИЧ – старший преподаватель, pogodaev.av@dvfu.ru

Департамент промышленной безопасности Политехнического института

Дальневосточный федеральный университет

ВОЛКОВА ВЛАДИСЛАВА НИКОЛАЕВНА – аспирант, инженер-исследователь ДВФУ,
ведущий-инженер главного технолога, vladavibi@bk.ru✉

КГУП «Приморский водоканал»

Владивосток, Россия

Исследование улавливающих характеристик фильтрационных элементов современных респираторов классов защиты FFP1 и FFP2 при воздействии сварочного аэрозоля

Аннотация: Широкое использование респираторов для лица ранее было принято жителями мегаполисов и стран с низким или средним уровнем дохода для борьбы с последствиями загрязнения воздуха. Идентификация инфекционных респираторных аэрозолей того же размера, что и аэрозоли сварочного производства, в сочетании с нарушением цепочки поставок во время пандемии подчеркивает необходимость соблюдения базовых принципов в отношении материалов для лицевых масок. Многоцветные тканевые маски являются экологически чистой альтернативой одноразовым. Статья посвящена исследованию улавливающих характеристик фильтрационных элементов современных легкодоступных моделей респираторов FFP1 и FFP2 при воздействии сварочного аэрозоля, которые содержат взвешенные частицы размером менее 10 мкм (PM₁₀). Целью работы является предоставление результатов, основанных на фактических данных по выбору подходящих респираторов. Выявлена высокая улавливающая способность у респираторов с многослойной защитой, в том числе оснащенных угольными фильтрами, по отношению к нано- и микрочастицам.

Ключевые слова: сварочный аэрозоль, атмосферная взвесь, сварка, нано- и микрочастицы, респираторы

Для цитирования: Кириченко К.Ю., Холодов А.С., Гридасов А.В., Погодаев А.В., Вахнюк И.А., Волкова В.Н., Голохваст К.С. Исследование улавливающих характеристик фильтрационных элементов современных респираторов классов защиты FFP1 и FFP2 при воздействии сварочного аэрозоля // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2022. № 1(50). С. 94–103. <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-1/94-103>

© Кириченко К.Ю., Холодов А.С., Гридасов А.В., Погодаев А.В., Вахнюк И.А., Волкова В.Н., Голохваст К.С., 2022
Статья: поступила: 11.01.2022; рецензия: 23.02.2022; финансирование: Дальневосточный институт геологии ДВО РАН, Дальневосточный федеральный университет, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН.

Введение

Среди широко распространённых технологических процессов современного промышленного производства как наиболее гигиенически опасные для человека следует выделить:

- электрохимический процесс по химическому обезжириванию цветных металлов – для гальванического производства [8];

- процесс по сварке металлических изделий из черного металла (металлическая пластина ВСт-3сп, S=8 мм) методом ручной электродуговой сварки с применением электродов с рутиловым типом покрытия диаметром 3 мм – для сварочного производства [9].

Различные виды респираторов, используемых на производстве или медицинскими работниками, регулируются национальными и международными стандартами. В последнее время из-за огромного спроса и нехватки респираторов, соответствующих обязательным официальным рекомендациям при пандемии COVID-19 [12], производство масок значительно увеличилось. В связи с этим диапазон проницаемости масок с разными фильтрующими слоями также расширился – от 33 до 100%. Замечено, что наибольшую защиту обеспечивают герметично прилегающие к лицу маски, а наименьшую – маски при их свободном ношении.

На рабочие характеристики респираторов влияют несколько ключевых факторов: фильтрация, сопротивление потоку (т.е. воздухопроницаемость), эргономичность и возможность непрерывной работы в условиях окружающей среды. Сравнение двух образцов фильтров из одного и того же респиратора CE показало, что их разница в проницаемости в большинстве случаев достигает 6,8%, а таковая у идентичных респираторов FFP2 составляет около 2,5%. Также было установлено, что диапазон общей проницаемости исследованных фильтров составляет: 3,2–16,3% (FFP1), 2,4–34,3% (FFP2) и 0,02–3,3% (FFP3), и во многих случаях проницаемость этих респираторов в промышленных условиях не соответствует европейским стандартам [15]. Так, эффективность фильтров 44 различных типов масок, изготовленных с соблюдением стандартов Корейского управления по контролю за продуктами и лекарствами (KFDA), оказалась значительно ниже той, что указана в стандарте KFDA [7].

Представления о том, что ношение лицевых масок негативно влияет на здоровье населения, вызвало необходимость в комплексном экспериментальном исследовании, направленном на измерение защиты, обеспечиваемой лицевыми масками от аэрозолей процессов выдоха в производственных и псевдостационарных условиях.

Для оценки проникающей способности частиц сварочного аэрозоля исследовали свойства проницаемости через фильтрационные материалы наиболее востребованных моделей современных респираторов, используемые в сварочном производстве. Сравнительный анализ улавливающих характеристик фильтрационных элементов респираторов проводился в производственных условиях сварочного производства. В данной экспериментальной работе для оценки проницающей способности использовались образцы фильтрационных материалов различных видов респираторов.

Эксперимент: количественный состав взвешенных частиц

Измерение количественного состава взвешенных частиц проводили с использованием ручного лазерного счетчика частиц AeroTrak Handheld Particle Counter 9306 (США), соответствующего всем требованиям ISO 21501-4.

Для проведения исследований по измерению улавливающих характеристик мельчайших частиц фракции PM_{0,3} и PM₁₀ фильтрационными элементами респираторов (табл. 1, рис. 1) выбран процесс по сварке металлических изделий из черного металла (металлическая пластина ВСт-3сп, S=8 мм) методом ручной электродуговой сварки с применением электродов Kiswel KR-3000 с рутиловым типом покрытия, диаметром 3 мм.

Отбор проб атмосферного воздуха был произведен в непосредственной близости (1 м) от источника загрязнения (рис. 1) и на высоте 1,5 м, что соответствует уровню дыхания человека.

Таблица 1

Список средств индивидуальной защиты органов дыхания для эксперимента

№ образца	Наименование респиратора	Страна-производитель	Технические характеристики
1	Stayer master с клапаном	Китай	Класс защиты: FFP1 11118 Материал: текстурированный полипропилен
2	«Зубр Профессионал» с клапаном	Россия	Класс защиты: FFP1 11160 Материал: текстурированный полипропилен
3	DEXX	Германия Россия	Класс защиты: FFP1 11103 Материал: полипропилен
4	«Зубр» с клапаном	Россия	Класс защиты: FFP2 11163-2 Материал: текстурированный полипропилен
5	Rutex F1101 с клапаном 10/180	Россия	Класс защиты: FFP1 NR D Материал: электретыльный фильтрующий материал
6	KN95	Россия	Класс защиты: FFP2 Материал: нетканое полотно и высокотехнологичная фильтрующая ткань Meltblown
7	«Исток» с клапаном	Россия	Класс защиты: FFP2 Материал: вспененный полиэтилен
8	У-2К 1116	Россия	Класс защиты: FFP1 Материал: поролон
9	РПГ-67 тип А1 В1	Россия	Класс защиты: FFP1 Материал: трикотажный обтюратор, угольный фильтр
10	Маска медицинская	Россия	Материал: нетканый трёхслойный SMS/CMC (спанбонд, CMC, спанбонд)

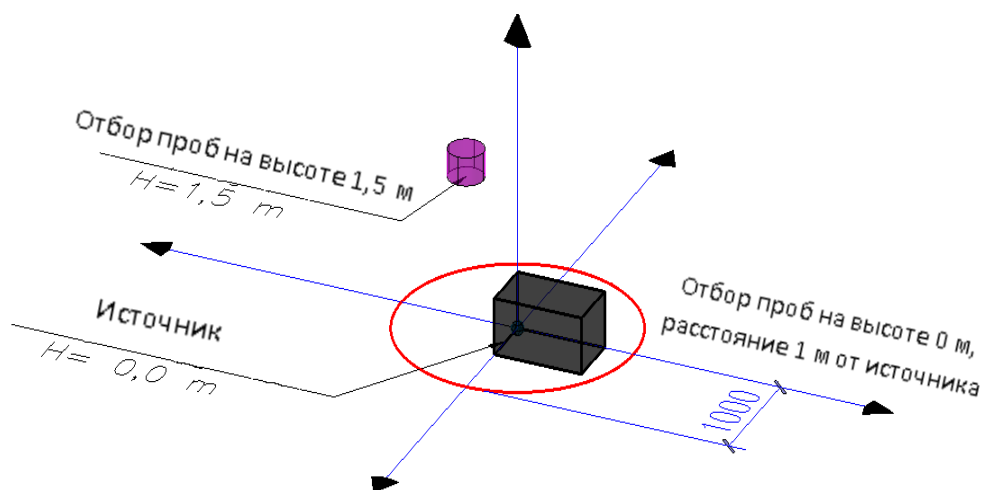


Рис. 1. Местоположение точек отбора проб для сварочного производства

Получено две серии отбора проб с использованием фильтрационных материалов 10 моделей респираторов: для сварочного и гальванического производств.

Массовая концентрация взвешенных частиц

Определение содержания мелкодисперсных частиц промышленного аэрозоля в атмосферном воздухе была произведена с использованием пробоотборника аспираторного типа «Аспиратор ПУ» (Россия).

Вместо стандартных аэрозольных фильтров, выполненных на основе фильтрующего полотна Петрянова из волокнистой ткани перхлорвинила, использован фильтр АФА-ВП-20-1 по ТУ 95 1892-89 с площадью рабочей поверхности 20 см² (Кимрская фабрика им. Горького). Он характеризуется высокой эффективностью улавливания за счет электростатического притяжения частиц аэрозоля к заряженным волокнам фильтра. Для частиц размером 0,1 мкм также использованы образцы аналогичных размеров фильтрационного материала, изъятые из современных моделей респираторов (см. табл. 1) и вырезанного до характерных размеров.

Данный пробоотборник был оснащен наголовником с насадкой для отбора частиц фракции РМ₁₀, взятом с аналогичного аспиратора LVS 3.1 (Ingeniero Nobert Derenda, Германия). Диапазон взвешенных частиц для фильтров данного наголовника составляет 0,45–10 мкм. Был выбран верхний предел фракции частиц – 10 мкм (РМ₁₀), поскольку именно он представляет наибольшую опасность для здоровья человека, являясь причиной возникновения респираторных заболеваний [3]. Выделение фракции РМ₁₀ отражает современную тенденцию в области контроля взвешенных в атмосферном воздухе веществ [5].

Перед отбором проб образцы фильтрационного материала респираторов предварительно высушивались в термостате ТС-1/20 (Россия) в течение 24 часов при температуре 40 °С (рис. 2). Затем на электронных весах Sartorius (Германия) каждый фильтр пятикратно взвешивался с дальнейшим определением среднеарифметического значения.



Рис. 2. Подготовка фильтрационных материалов с использованием термостата

Показания сняты в двух точках (рисунки 1, 3): на расстоянии 1 м и высоте 0 м – точка 1, а также на высоте 1,5 м и расстоянии от источника загрязнения 1 м – точка 2.



Рис. 3. Отбор проб атмосферного воздуха на высоте 1,5 м при производстве сварочных работ

Статистическая выборка включала три измерения для каждой точки. Высота установки насадки пробоотборника соответствовала уровню дыхания человека – 1,5 м. Время отбора проб в каждой точке равно 1 мин. Температура воздуха в период отбора была 18 °С, скорость ветра – 0 м/с (пробы отбирались внутри промышленных цехов). Объем пропускаемого через пробоотборник воздуха соответствовал 2,8 м³/час. Через 24 часа происходила замена фильтра, далее цикл повторялся. Фильтры с пробами атмосферных взвесей транспортировали в лабораторию НОЦ «Нанотехнологии» Политехнического института ДВФУ для дальнейшего определения концентрации частиц фракции РМ₁₀.

Запыленность воздуха измеряли путем взвешивания фильтров на аналитических весах до и после отбора проб. Полученная разница в весе фильтров до и после проведения процедуры отбора проб воздуха соответствовала осевшей массе частиц атмосферных взвесей, в том числе фракции РМ₁₀.

Результаты и обсуждения

Известно, что проникновение частиц промышленных аэрозолей сквозь респираторы возрастает с увеличением скорости потока независимо от типа частиц и что размер частиц является значительным фактором, влияющим на проникновение горючих частиц [2]. Именно поэтому в экспериментальной работе рассматривались частицы размерностью до 10 мкм, которые обладают наибольшей проникающей способностью [14] и могут оседать глубоко в легких сварщиков и рабочих смежных специальностей. В таблицах 2, 3 приведены данные по массовому и количественному составу взвешенных твердых частиц сварочного аэрозоля.

Таблица 2

Массовая концентрация взвешенных твердых частиц сварочного аэрозоля, мг

№ точки	№ респиратора									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,4774	0,5706	0,3979	0,4660	0,4120	0,3663	0,3287	0,3997	0,2279	0,1061
2	0,4781	0,5708	0,3981	0,4662	0,4122	0,3665	0,3293	0,4009	0,2298	0,1065
Сухой	0,0004	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	0,0006	0,0010	0,0002

Таблица 3

Количественный состав взвешенных частиц

№ респиратора	Диапазон фракций взвешенных частиц пробоотборника РМ, мкм					
	0,3	0,5	1	3	5	10
	Состав взвешенных частиц, кол-во/куб. м.					
1	490693300	38951590	1791873	131802	97173	32509
2	651442400	57173150	2812721	150530	114841	42403
3	833003600	84580920	2264664	160424	141696	40989
4	790588400	74862540	1828269	123322	83746	20848
5	306128300	35135690	2308127	134276	93286	18021
6	953861200	120886200	2759364	148410	103887	22968
7	980181600	142891200	6184452	220848	98233	20495
8	748790500	94599650	3183392	148057	93993	19081
9	316012000	49424740	6925795	304947	111661	21201
10	885036800	119057200	3527915	148057	78799	20848

Выявление неэффективных средств индивидуальной защиты органов дыхания особо актуально в условиях пандемии [11], так как дефицит масок и респираторов способствует появлению на коммерческом рынке поддельных моделей [4, 6, 11]. Количественный состав

взвешенных частиц (кол-во/м.куб.) измеряли лазерным счетчиком частиц AeroTrak Handheld Particle Counter 9306 (США), соответствующим всем требованиям ISO 21501-4.

Известно, что в отличие от ультратонкой фракции более крупные частицы (например, 800 нм) в стандартном фильтре респиратора среднего и высокого классов защиты оседают практически полностью на фильтрационном материале [1]. Именно поэтому был выполнен подсчет количества нано- и микроразмерных частиц до попадания в наголовник аспиратора. По данным количественного анализа (см. табл. 3) составлена диаграмма состава взвешенных веществ (рис. 4).

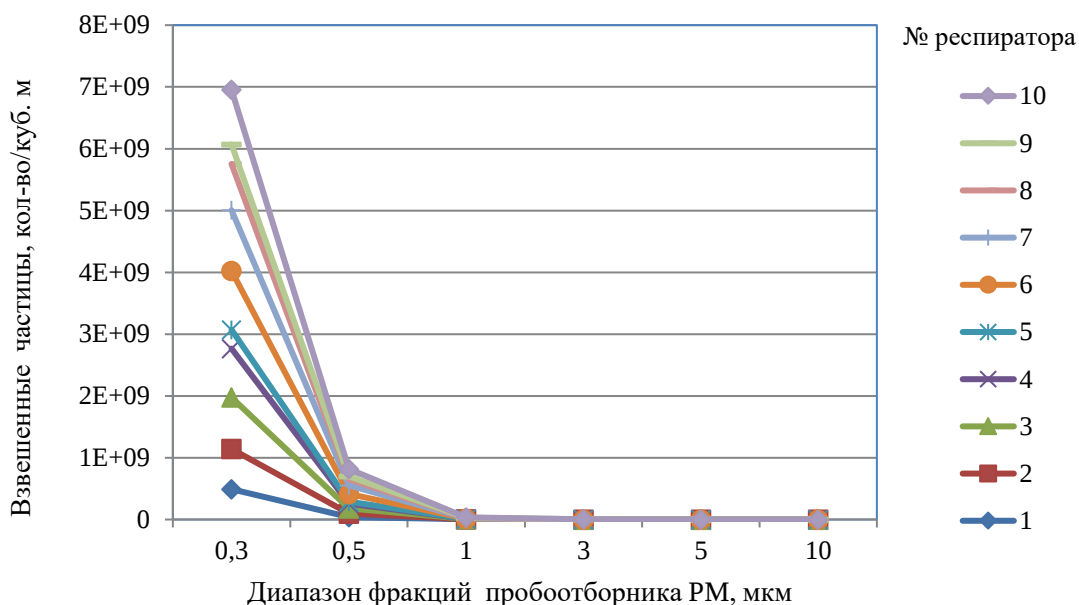


Рис. 4. Диаграмма состава взвешенных частиц

Таблица 4

Химический состав сварочного аэрозоля

№	Загрязняющие вещества	ПДК, мг/м ³
1	Оксид железа	0,120
2	Марганец	0,003
3	Диоксид азота	0,216
4	Аммиак	0,100
5	Оксид азота	0,035
6	Углерод (сажа)	0,011
7	Диоксид серы	0,021
8	Оксид углерода	1,931
9	Ксилол	15,949
10	Поликарбонат	0,002
11	Бензапирен	0,000
12	Н-бутиловый спирт	0,705
13	Фенол	0,062
14	Бутилцеллозольв	1,526
15	Бутилацетат	0,060
16	Нефтяной бензин	0,170
17	Взвешенные вещества	0,113
18	Пыль неорганическая	0,002

Выявлено, что содержание мельчайших твердых частиц сварочного аэрозоля фракции $PM_{0,3}$ на уровне сотни миллионов штук в 1 м^3 (от 316 до 980) в сотни раз превышает количество частиц фракции PM_{10} (от 19 до 42 тыс./ м^3). Именно такие частицы представляют наибольшую угрозу для здоровья человека [1]. В ходе эксперимента установлен химический состав нанодиапазона сварочного аэрозоля (табл. 4).

В ходе анализа выявлена низкая улавливающая эффективность современных моделей респираторов. Респираторы № 2–5 минимально эффективны при улавливания твердых частиц сварочного аэрозоля. Дополнительно следует выделить еще две модели респираторов – № 1 и № 8, которые на общем фоне имеют средние показатели эффективности.

Наибольшая массовая доля осевших частиц выявлена у респиратора № 9 (РПГ-67 тип А1 В1), который имеет несколько слоев защиты (трикотажный обтюратор и угольный фильтр). На образец фильтрационного материала данного респиратора осело частиц в 2–10 раз больше, чем у образцов из групп 2 и 1.

Выводы и перспективы исследования

Результаты исследования улавливающей способности фильтрационных материалов позволяют сделать вывод о наибольшей эффективности респираторов с комбинированными многослойными фильтрующими элементами.

Были отобраны наиболее популярные модели респираторов. Выявлены улавливающие характеристики фильтрующих элементов при сварке в реальных производственных условиях. Для оценки проникающей способности частиц использовались только образцы фильтрующих материалов. Оцененный диапазон сварочного аэрозоля составлял от 0,3 до 10 мкм.

Нано-частицы, входящие в состав сварочного аэрозоля, представляют большую угрозу, глубоко проникая во внутренние органы человека. Полученные результаты свидетельствуют о том, что большинство респираторов, использованных в эксперименте, имело низкую эффективность улавливания частиц. Наиболее эффективными в эксперименте оказались респираторы с многослойными фильтрующими элементами.

Авторы благодарны сотрудникам ЦКП ДВФУ за предоставленное научное оборудование и выражают признательность специалистам библиотеки СибНСХБ – филиала ФГБУН ГПНТБ за помощь при работе с литературой.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 22-24-01169.

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кузнецов Д.А., Игнатов М.Н., Игнатова А.М. Физико-химические методы исследования твердой составляющей сварочных аэрозолей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2014. Т. 16. № 4. С. 140–150.
2. Попова С.Ю. Результаты использования устройства для снижения уровня запыленности на рабочих местах сварщиков // АПК России. 2010. Т. 56. С. 71–74.
3. Симонова И.Н., Антонюк М.В., Виткина Т.И. Влияние наночастиц воздушной среды на состояние бронхолегочной системы // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2013. № 49. 115–120.
4. Broadhurst R., Ball M., Jiang C. Statistical Bulletin Availability of COVID-19 related products on Tor darknet markets. Statistical Bulletin no. 24. Canberra, Australian Institute of Criminology, 2020. 12 p. DOI: 10.52922/sb04534
5. Gao S., Kim J., Yermakov M., Elmashae Y., He X., Reponen T., Grinshpun S.A. Penetration of combustion aerosol particles through filters of NIOSH-certified filtering facepiece respirators (FFRs). J. of Occupational and Environmental Hygiene. 2015;12(10):678-685.

6. Ippolito M., Iozzo P., Gregoretti C., Cortegiani A. Counterfeit filtering facepiece respirators are posing an additional risk to healthcare workers during COVID-19 pandemic. *Am. J. Infect. Control.* 2020;48:853-854.
7. Jung H., Kim J., Lee S., Lee J., Kim J., Tsai P., Yoon C. Comparison of filtration efficiency and pressure drop in anti-yellow sandmasks, quarantine masks, medical masks, general masks, and handkerchiefs. *Aerosol and Air Quality Research.* 2014;(14):991-1002. DOI: 10.4209/aaqr.2013.06.0201
8. Kirichenko K.Y., Vakhniuk I.A., Ivanov V.V., Kholodov A.S., Golokhvast K.S. Complex study of air pollution in electroplating workshop. *Scientific Reports.* 2020;10(1):11282. DOI: 10.1038/s41598-020-67771-3
9. Kirichenko K.Y., Vakhniuk I.A., Golokhvast K.S. et al. Characteristics of fume sedimentation in the working zone during arc welding with covered electrodes. *Toxicological & Environmental Chemistry (GTEC).* 2019:101. DOI: 10.1080/02772248.2020.1747465
10. Kirichenko K.Y., Vakhniuk I.A., Golokhvast K.S. et al. Modeling the Process of the Distribution of Suspended Particles of Nano- and Microparticles of Industrial Aerosols in Electroplating Workshop. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2020;459(4). DOI: 10.1088/1755-1315/459/4/042093
11. Lam S.C., Suen L.K., Cheung T.C. Global risk to the community and clinical setting: flocking of fake masks and protective gears during the COVID-19 pandemic. *Am. J. Infect. Control.* 2020;48:964-965.
12. Pacitto A., Amato F., Salmatoniadis A., Moreno T., Alastuey A., Reche C., Buonanno G., Benito C., Querol X. Effectiveness of commercial face masks to reduce personal PM exposure. *Sci. Total Environ.* 2019;1582-1590. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.109
13. Penttinen P., Timonen K.L., Tiittanen P., Mirme A., Ruuskanen J., Pekkanen J. Ultrafine particles in urban air and respiratory health among adult asthmatics. *European Respiratory J.* 2001;17:428-435.
14. Schilling K., Gentner D.R., Wilen L., Medina A., Buehler C., Perez-Lorenzo L.J., Pollitt K.J.G., Bergemann R., Bernardo N., Peccia J., Wilczynski V., Lattanza L. An accessible method for screening aerosol filtration identifies poor-performing commercial masks and respirators. *J. of Exposure Science and Environmental Epidemiology.* 2021;31:943-952.
15. Serfozo N., Ondráček J., Zíková N., Lazaridis M., Ždímal V. Size-Resolved Penetration of Filtering Materials from CE-Marked Filtering Facepiece Respirators. *Aerosol and Air Quality Research.* 2017;17:1305-1315. DOI: 10.4209/aaqr.2016.09.0390
16. Zaripov S.K., Mukhametzanov I.T., Grinshpun S.A. Numerical studies on the performance of an aerosol respirator with faceseal leakage. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2016;158(1). DOI: 10.1088/1757-899X/158/1/012100

Original article

<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-1/94-103>

Kirichenko K., Kholodov A., Gridasov A., Pogodaev A., Volkova V., Golokhvast K.

KONSTANTIN Yu. KIRICHENKO, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher;
 Researcher of the Scientific and Organizational Department of the Far Eastern Federal University,
kirichenko2012@gmail.com

IGOR A. VAKHNUK, Junior Researcher, vakhnuyk.ia@mail.ru

KIRILL S. GOLOKHAVAST, Doctor of Biological Sciences, Corresponding Member of the Russian
 Academy of Education, Professor of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher,
droopy@mail.ru

Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology RAS

Krasnoobsk, Russia

ALEXEY S. KHOLODOV, Senior Researcher, alex.holodov@gmail.com

Far Eastern Institute of Geology FEB RAS

ALEXANDER V. GRIDASOV, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Deputy
 Vice-Rector, gridasov@dvfu.ru

ANTON V. POGODAEV, Senior Lecturer, pogodaev.av@dvfu.ru

Far Eastern Federal University

VLADISLAVA N. VOLKOVA, Postgraduate Student, Research Engineer of the Far Eastern Federal
 University, Leading Engineer of the Chief Technologist, vladavibi@bk.ru

Primorsky Vodokanal KSUE

Vladivostok, Russia

Study of the catching characteristics of the filtration elements of up-to-date respirators of protection classes FFP1 and FFP2 under the influence of welding aerosol

Abstract: The respirators has previously been widely used mostly by citizens of megapolises and of low- or middle-income countries to protect themselves from the air pollution. The detection of infectious respiratory aerosols of the same size as welding aerosols, combined with the disruption of the supply chain during the pandemic, highlights the need to develop material guidelines for face masks. Reusable sheet masks are environmentally friendly alternative to disposable ones. The article presents the study of the catching characteristics of the filter elements of up-to-date easily accessible models of respirators FFP1 and FFP2, exposed to welding aerosol containing suspended particles smaller than 10 μm (PM10). The purpose of the article is to provide evidence-based results for the selecting of suitable respirators. The high catching ability of respirators with multilayer protection, including those equipped with carbon filters, in relation to nano- and microparticles was revealed.

Keywords: welding aerosol, atmospheric suspension, welding, nano- and microparticles, respirators

For citation: Kirichenko K., Kholodov A., Gridasov A., Pogodaev A., Volkova V., Golokhvast K. Study of the catching characteristics of the filtration elements of up-to-date respirators of protection classes FFP1 and FFP2 under the influence of welding aerosol. FEFU: School of Engineering Bulletin. 2022;(50):94-103. (In Russ.). <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-1/94-103>

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

REFERENCES

1. Kuznetsov D.A., Ignatov M.N., Ignatova A.M. Physics-chemical methods of studies of solid part welding fumes. Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Mechanical engineering, materials science. 2014;16(4):140-150.
2. Popova S.Yu. The results of using a device to reduce the level of dust in the workplaces of welders. Agro-Industrial Complex of Russia. 2010;56:71-74.

3. Simonova I.N., Antonyuk M.V., Vitkina T.I. Influence of air nanoparticles on the state of the bronchopulmonary system. *Bulletin of Physiology and Pathology of Respiration*. 2013(49):115-120.
4. Broadhurst R., Ball M., Jiang C. Statistical Bulletin Availability of COVID-19 related products on Tor darknet markets. *Statistical Bulletin no. 24*. Canberra, Australian Institute of Criminology, 2020. 12 p. DOI: 10.52922/sb04534
5. Gao S., Kim J., Yermakov M., Elmashae Y., He X., Reponen T., Grinshpun S.A. Penetration of combustion aerosol particles through filters of NIOSH-certified filtering facepiece respirators (FFRs). *J. of Occupational and Environmental Hygiene*. 2015;12(10):678-685.
6. Ippolito M., Iozzo P., Gregoretti C., Cortegiani A. Counterfeit filtering facepiece respirators are posing an additional risk to healthcare workers during COVID-19 pandemic. *Am. J. Infect. Control*. 2020;48:853-854.
7. Jung H., Kim J., Lee S., Lee J., Kim J., Tsai P., Yoon C. Comparison of filtration efficiency and pressure drop in anti-yellow sandmasks, quarantine masks, medical masks, general masks, and handkerchiefs. *Aerosol and Air Quality Research*. 2014;(14):991-1002. DOI: 10.4209/aaqr.2013.06.0201
8. Kirichenko K.Y., Vakhniuk I.A., Ivanov V.V., Kholodov A.S., Golokhvast K.S. Complex study of air pollution in electroplating workshop. *Scientific Reports*. 2020;10(1):11282. DOI: 10.1038/s41598-020-67771-3
9. Kirichenko K.Y., Vakhniuk I.A., Golokhvast K.S. et al. Characteristics of fume sedimentation in the working zone during arc welding with covered electrodes. *Toxicological & Environmental Chemistry (GTEC)*. 2019;101. DOI: 10.1080/02772248.2020.1747465
10. Kirichenko K.Y., Vakhniuk I.A., Golokhvast K.S. et al. Modeling the Process of the Distribution of Suspended Particles of Nano- and Microparticles of Industrial Aerosols in Electroplating Workshop. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;459(4). DOI: 10.1088/1755-1315/459/4/042093
11. Lam S.C., Suen L.K., Cheung T.C. Global risk to the community and clinical setting: flocking of fake masks and protective gears during the COVID-19 pandemic. *Am. J. Infect. Control*. 2020;48:964-965.
12. Pacitto A., Amato F., Salmatondis A., Moreno T., Alastuey A., Reche C., Buonanno G., Benito C., Querol X. Effectiveness of commercial face masks to reduce personal PM exposure. *Sci. Total Environ*. 2019;1582-1590. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.109
13. Penttinen P., Timonen K.L., Tiittanen P., Mirme A., Ruuskanen J., Pekkanen J. Ultrafine particles in urban air and respiratory health among adult asthmatics. *European Respiratory J*. 2001;17:428-435.
14. Schilling K., Gentner D.R., Wilen L., Medina A., Buehler C., Perez-Lorenzo L.J., Pollitt K.J.G., Bergemann R., Bernardo N., Peccia J., Wilczynski V., Lattanza L. An accessible method for screening aerosol filtration identifies poor-performing commercial masks and respirators. *J. of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 2021;31:943-952.
15. Serfozo N., Ondráček J., Zíková N., Lazaridis M., Ždímal V. Size-Resolved Penetration of Filtering Materials from CE-Marked Filtering Facepiece Respirators. *Aerosol and Air Quality Research*. 2017;17:1305-1315. DOI: 10.4209/aaqr.2016.09.0390
16. Zaripov S.K., Mukhametzanov I.T., Grinshpun S.A. Numerical studies on the performance of an aerosol respirator with faceseal leakage. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016;158(1). DOI: 10.1088/1757-899X/158/1/012100